

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 10 月 6 日 (06.10.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/093800 A1

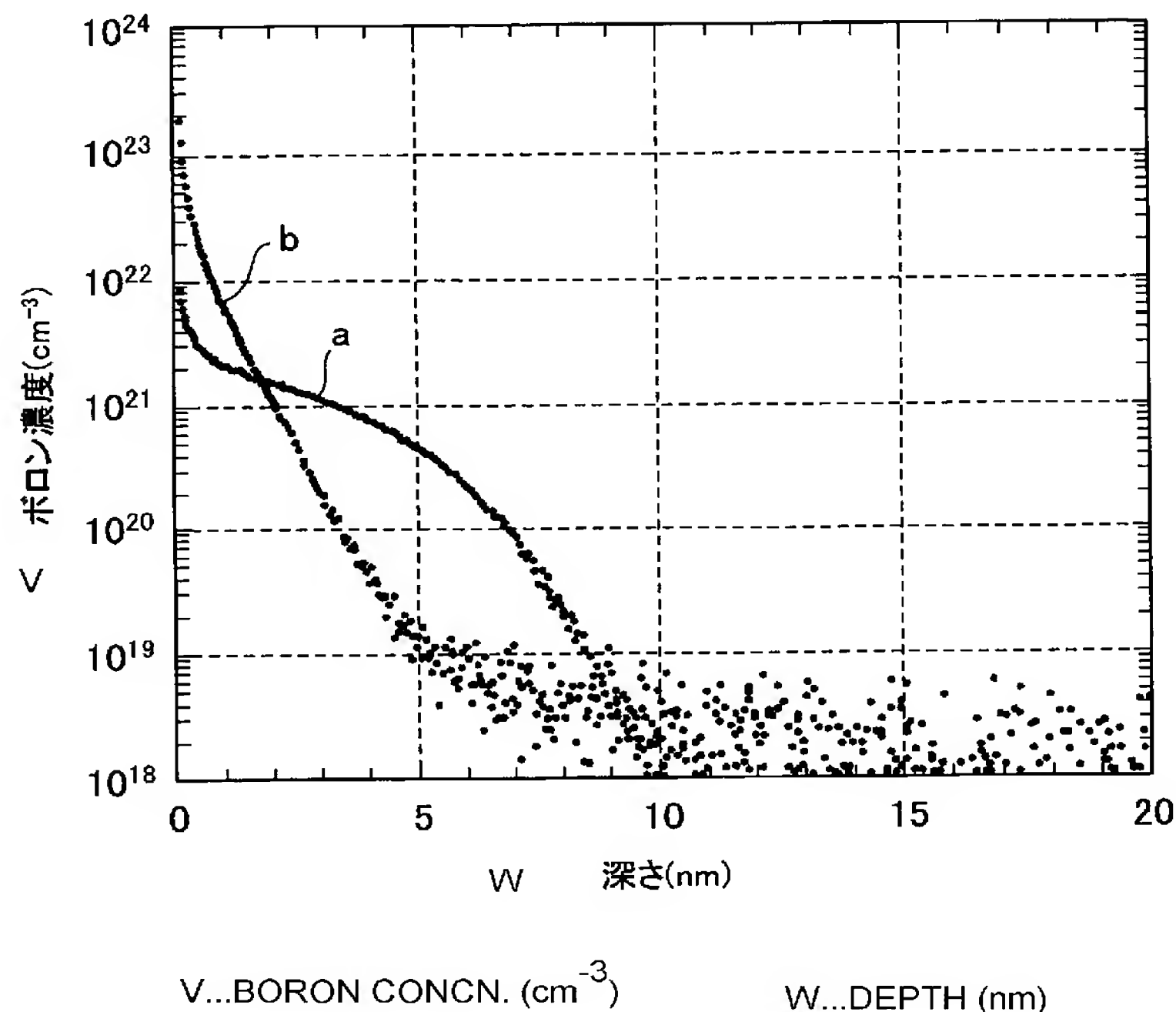
- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01L 21/265 // H05H 1/46
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/004790
- (22) 国際出願日: 2005 年 3 月 17 日 (17.03.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2004-090455 2004 年 3 月 25 日 (25.03.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐々木 雄一郎 (SASAKI, Yuichiro). 中山 一郎 (NAKAYAMA, Ichiro). 水野 文二 (MIZUNO, Bunji).

- (74) 代理人: 高松 猛, 外 (TAKAMATSU, Takeshi et al.); 〒1076013 東京都港区赤坂一丁目 1 2 番 3 2 号 アーク森ビル 1 3 階 栄光特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

[続葉有]

(54) Title: METHOD OF IMPURITY INTRODUCTION, IMPURITY INTRODUCTION APPARATUS AND SEMICONDUCTOR DEVICE PRODUCED WITH USE OF THE METHOD

(54) 発明の名称: 不純物導入方法、不純物導入装置およびこの方法を用いて形成された半導体装置



(57) Abstract: An impurity region with box-type impurity profile is formed. There is provided a method comprising the step of introducing a desired impurity in a surface of solid substratum and the step subsequent thereto of irradiating the surface of solid substratum with plasma so as to provide an impurity profile of nearly box type.

[続葉有]

WO 2005/093800 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類：  
— 国際調査報告書

(57) 要約： ボックス型の不純物プロファイルをもつ不純物領域を形成する。 固体基体の表面に所望の不純物を導入する工程と、前記導入する工程の後、前記固体基体の表面にプラズマを照射する工程を含み、ボックス型に近い不純物プロファイルを形成する。

## 明 細 書

### 不純物導入方法、不純物導入装置およびこの方法を用いて形成された半導体装置

#### 技術分野

[0001] 本発明は、不純物導入方法、不純物導入装置およびこれを用いて形成される半導体装置に係り、特に、プラズマドーピングにおける不純物導入プロファイルの制御に関する。

#### 背景技術

[0002] 近年、半導体デバイスの微細化に伴い、浅いpn接合を形成する技術が求められている。

このようなpn接合の形成方法としては、従来から、イオン注入が用いられている。例えば、n型シリコン基板にイオン注入でボロンなどのp型不純物を導入した後、ハロゲンランプ等を用いて電氣的に活性化することにより、pn接合が形成され、このpn接合を利用した種々のデバイスが形成されている。

このイオン注入を用いて、浅い接合を形成するための種々の試みがなされており、フラッシュランプ法やレーザアニール法などの各種アニール法によって注入された不純物を電氣的に活性化することで浅い接合を形成できるとはいうものの、イオン注入で形成できる深さには限界がある。例えば、ボロン不純物は浅く導入することが難しく、Bイオンあるいは $\text{BF}_2$ イオンの加速エネルギーを数keVの低エネルギーにすることは困難となり、イオン注入では、導入領域の深さは基体表面から10nm程度が限界であった。

そこで、近年、更に浅い接合を効率よく形成可能にする手法として種々のドーピング方法が提案され、その中でプラズマドーピング技術が実用化に適するものとして注目されてきている。このプラズマドーピングは、導入すべき不純物を含有した反応ガスをプラズマ励起し、上記基体表面にプラズマ照射して不純物を導入する技術である。この技術によれば、ボロン不純物であっても深さ7nmの浅い接合が形成できるとされる(例えば非特許文献1、2参照)。

[0003] 非特許文献1:プラズマドーピング技術:水野文二著(第70巻、第12号、p. 1458-1462(2001))

非特許文献2:低バイアスプラズマドーピングによってドーピングされたサブ0.1ミクロンpMOSFETの性能:Reliable and enhanced performances of sub-0.1  $\mu$ m pMOSFETs doped by low biased Plasma Doping、Damien Lenoble 他、VLSIシンポジウム、IEEE／日本応用物理学会共催、p.110、2000年。

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、半導体デバイスの微細化は急激に進んでおり、その量産製造での接合深さの設計寸法は100nm以下、さらに最近では65nmになろうとしている。このような中で、半導体基板表面への不純物導入において高精度の制御技術が要求されている。

すなわち、不純物導入領域の深さが50nm以下、さらには10nmになる浅い接合の形成を安定的に制御する技術が求められている。また、浅い位置で高濃度の接合を安定して形成することは、動作速度の高速化のために重要である。

このような状況の中で、浅くかつ高濃度の不純物領域を形成することは半導体デバイスの微細化・高集積化への大きな課題となっている。

特に、浅くかつ低抵抗の不純物領域を安定して形成するためには、不純物濃度プロファイルが基板表面での変化をなだらかにすることすなわち、いわゆるボックス型(箱型)の不純物濃度プロファイルが必要である。しかしながら、極浅領域に不純物を導入する場合には、通常は表面近傍で高濃度であっても、深くなるにつれて急峻に変化するものが多く、ボックス型の制御は理想ではあるが極めて困難であるとされている。

[0005] 本発明は、前記実情に鑑みてなされたもので、極めて浅く、安定した不純物導入を高精度に実現することを目的とする。

また、本発明は、いわゆるボックス型の不純物プロファイルをもつ不純物領域を形成することを目的とする。

また、本発明は、特に、超浅の不純物領域を安定して形成することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

- [0006] 本発明の不純物導入方法は、固体基体の表面に所望の不純物を導入する工程と、前記導入する工程の後、前記固体基体の表面にプラズマを照射する工程を含むことを特徴とする。
- [0007] すなわち、固体基体の表面に所望の不純物を導入する工程の後、前記固体基体の表面に低エネルギーのプラズマを照射することで、極表面にある不純物(ボロン:B)を縦方向のエネルギーでノックオンし、縦方向の運動エネルギーを不純物に付与することにより、深さ方向に不純物を叩き込む。そしてある程度(10nm)の深さ位置に導入された不純物はそれ以上この低エネルギーのプラズマで叩き込まれることはなく、極表面にある不純物のみが10nm程度の深さ位置にまで導入される。これにより、浅い位置での不純物濃度を増大させることができる。
- [0008] またこの現象は、プラズマの運動エネルギーを固体基体表面に垂直に供給することにより、横方向の拡がりなしに、浅い位置で高濃度の不純物領域を形成することができる。このようにしてボックス型の不純物濃度プロファイルを得ることができる。
- [0009] イオン注入やプラズマドーピングで導入したボロンなどの不純物のアニール前の深さ方向での不純物濃度プロファイルは、アニール後の浅い活性化層の電気特性に影響を及ぼす。すなわち、活性化層の深さが同じ条件であれば、活性化層のシート抵抗が最も低くなるのはアニール後の不純物の深さ濃度プロファイルが縦軸に不純物濃度をとり横軸に深さをとったグラフで濃度分布がボックス型に分布する場合である。ここで、アニール前の不純物の深さ濃度プロファイルが箱型に近い場合、アニール後の不純物の深さ濃度プロファイルはよりボックス型にしやすい。
- [0010] そして、このような不純物プロファイルをもつ固体基体に、フラッシュランプアニールなどの高温短時間で熱処理することにより、アニール前のアニール後の不純物の深さ濃度プロファイルは、アニール前の濃度プロファイルとほぼ同じとなる。フラッシュランプアニール法は、シート抵抗の低い活性化層を形成するために、不純物の拡散をほとんど起こさせない活性化方法として開発されたもので、これを適用することによりシート抵抗の低減を図ることができ、デバイス的高速化を図ることができる。すなわち、このように、アニール前の不純物の濃度プロファイルを箱型にすることにより、活性



化層のシート抵抗を低減することができる。

[0011] このように本発明によれば、不純物の導入後にプラズマ照射を行なうことにより、極めて容易に、イオン注入やプラズマドーピングで導入したボロンなどの不純物の濃度プロファイルを箱型にすることができる。

[0012] 本発明の方法は、前記プラズマを照射する工程が、前記半導体基板中で、不活性であるプラズマを照射する工程を含むものを含む。

この方法により、半導体を構成するシリコンなどの元素と反応することなく半導体基板中に導入された不純物の濃度プロファイルを箱型にすることができる。

[0013] また本発明の方法は、前記プラズマを照射する工程が、前記半導体基板中で、前記不純物が所望の不純物プロファイルをもつようにプラズマ照射条件を調整する工程を含む。

所望のプロファイルをもつように調整しつつプラズマ照射することにより、所望の不純物プロファイルを実現することができる。

[0014] また本発明の方法は、前記プラズマを照射する工程は、希ガス元素の少なくとも1種を含むプラズマを照射する工程を含むものを含む。

この方法によれば、希ガス元素の少なくとも1種を含むプラズマを照射することにより、不本意な反応を生じるようなこともなく不純物へのエネルギー付与を良好に実現することができる。

[0015] 更に本発明の方法は、前記プラズマを照射する工程が、Heプラズマを照射する工程を含むものを含む。

この方法によれば、Heの質量は小さいため、衝突によりエネルギーの大部分を不純物に与えることができ、効率よく不純物の導入を実現することができる。

[0016] また本発明の方法は、前記プラズマを照射する工程は、水素を含むプラズマを照射する工程を含むものを含む。

水素はアニール時に外方拡散により基体中から外に抜け出しやすいため、この方法によれば、アニール後に基体中の水素残留量が少なく、基体の特性、特に半導体特性に与える影響が少ないため望ましい。

[0017] 本発明の方法は、不純物を導入する工程が、プラズマドーピング工程を含むものを

含む。

この方法によれば、極めて低いエネルギーで粒子を固体基体に導入するので、より浅い不純物導入層を効率良く形成できる。したがってより浅い接合の形成が可能となる。

[0018] 本発明の方法は、不純物を導入する工程が、イオン注入工程を含むものを含む。

この方法によれば、制御性、面内均一性が良いためである。さらに低エネルギーイオン注入を用いることが望ましい。これは浅い注入が可能であり、本発明の目的である浅い接合形成に適しているからである。

[0019] 本発明の方法は、不純物を導入する工程が、ガスドーピング工程を含むものを含む。

ガスドーピングは、イオンではなく、電氣的に中性のガス状態の不純物を用いて、ガス分子の半導体基板への吸着、浸透を利用して不純物を導入する方法であるが、この方法によれば、極めて低いエネルギーで粒子を固体基体に導入するので、より浅い不純物導入層を効率良く形成できる。したがってより浅い接合の形成が可能となる。

[0020] また本発明の不純物導入装置は、固体基体の表面に所望の不純物を導入する不純物導入手段と、前記固体基体の表面にプラズマを照射して前記不純物の固体基体中での濃度分布を調整する調整手段と、導入された不純物を活性化するアニール手段とを具備したことを特徴とする。

[0021] また本発明の装置は、チャンバーと、前記チャンバー内に設置される固体基体の表面に不純物を導入する不純物導入手段と、前記固体基体の表面にプラズマを生成するプラズマ生成手段と、前記チャンバー内で前記固体基体をアニールするアニール手段とを具備している。

この装置によれば、不純物の導入とその濃度分布の調整と電氣的な活性化を作業性の観点から効率よく行なうことができる。

[0022] また本発明の半導体装置は、不純物プロファイルが深さ4nm位置で表面における不純物濃度の10分の1以上となるように形成される。

また本発明の半導体装置は、不純物プロファイルが深さ7nm位置で表面における

不純物濃度の100分の1以上となるように形成される。

[0023] 望ましくは、本発明の不純物導入装置は、不純物を含有する物質をプラズマ励起し、励起された前記物質より前記不純物を固体基体内に導入する不純物導入装置であって、前記固体基体を配置するチャンバーと、前記チャンバー内へ前記物質を一定量供給する手段と、前記チャンバー内を真空排気する手段と、前記一定量の物質をプラズマにするプラズマ発生手段とを備えている。そして、前記物質を一定量供給する手段は、前記物質を計量し貯蔵する機構を有し、この機構は、貯蔵容器の容積、圧力、温度を制御し前記物質を一定量に保持するようになっている。更に、上記貯蔵の容器は、上記基体に導入する不純物量に対応する量の物質が収納されるようになっている。

[0024] この構成により、大口径の半導体基板あるいは液晶表示基板である基体への不純物導入が短時間で枚葉処理できる。このために、この装置を用いて形成される半導体デバイスあるいは液晶表示デバイスの量産能力が向上し、生産コスト低減が可能になる。なお、前記物質は、気体、微粒子あるいは微細液滴である。

[0025] 例えば気体としては、 $B_2H_6$ 、 $BF_3$ 、 $AsH_3$ 、 $PH_3$ のいずれかを含む。また微粒子あるいは固体としては、B、As、P、Sb、In、Alのいずれかを用いることができる。ここで液滴とはこれらの微粒子や気体を溶解もしくは混濁させたものをいう。またこの他表面を覆うように形成する場合もある。

[0026] また、プラズマを発生させるタイミングは、固体基体表面近傍における不純物濃度のプロファイルをシミュレーションし、この結果に基づいて、行うようにしてもよい。さらにまた不純物濃度のプロファイルのシミュレーションに代えて、気体、微粒子または微細液滴の流速、気体分子数、圧力の群から選ばれる少なくとも1つを測定し、その標準偏差が2%未満に到達した状態でプラズマを発生させるようにしてもよい。

これにより、より容易に制御性よく不純物濃度のプロファイルを調整することができる。

[0027] なお本発明は、不純物導入においてプロファイルを高精度に制御することを可能にするもので、固体基体表面で物質を平衡状態にしたのちプラズマ励起する点、固体基体表面の物質を調整する点、固体基体表面でプラズマが所望の分布を生じるよう



に固体基体表面の物質を調整するもの、あるいはこれらの組み合わせを含み、これらの方法により、所望のプロファイルのプラズマドーピングを可能にするものである。

### 発明の効果

- [0028] 本発明の不純物導入方法によれば、基板表面に不純物を導入した後にHeプラズマなどの活性をもたないプラズマを用いたプラズマ処理を行なうことで箱型に近いプロファイルをもつ不純物領域を形成することが可能となる。

### 図面の簡単な説明

- [0029] [図1]本発明の実施の形態で用いられる不純物導入装置の模式的な断面図である。

[図2]本発明の第1の実施の形態における不純物導入方法を示す工程断面図である。

[図3]本発明の実施の形態で得られた不純物領域と比較例1との不純物プロファイルを示すSIMSデータを示す図である。

[図4]本発明の実施の形態で得られた不純物領域と比較例2との不純物プロファイルを示すSIMSデータを示す図である。図中、

1 高周波電源 2 マッチングボックス  
3 コイル 4, 5 マスフローコントローラー 6 ターボ分子ポンプ 7 コンダクタン  
スバルブ 8 ドライポンプ 9 サーキュレータ10 DC電源11 マッチングボックス1  
2 高周波電源13 被処理基板13n n型シリコン基板13p p型不純物領域M  
マスク14 下部電極15 真空チャンバー100 装置

### 発明を実施するための最良の形態

- [0030] (第1の実施の形態)

以下、本発明の第1の実施の形態について図1と図2を用いて説明する。この不純物導入装置は、基体の表面近傍における物質の分布を調整することにより、不純物導入プロファイルを調整できるように構成されたことを特徴とする。図1は本発明の不純物導入装置を模式的に示した断面図である。

- [0031] この不純物導入装置100は、図1に示すように、装置内で、プラズマドーピング、プラズマ照射、アニールが順次実行できるように構成されたものである。即ちこの装置は、真空チャンバー15内に配設された下部電極14を兼ねるサセプタに被処理基板13としての半導体基板を設置し、この基板表面近傍に、プラズマ発生領域を形成し、プ

ラズマドーピングおよびプラズマ照射を実現するものである。高周波電源1から、マッチングボックス2を介してコイル3が取り付けられており、このコイル3と下部電極14との間に高周波電力が供給される。また下部電極14は、DC電源10に接続されるとともに高周波電源12に対して、マッチングボックス11を介して接続されている。

[0032] また、真空チャンバー15の真空度はコンダクタンスバルブ7を介して接続されたターボ分子ポンプ6及びドライポンプ8で調整される。また下部電極14はサーキュレータ9によって回転可能に形成されている。またこのチャンバーには、Heガスなどの不活性ガスをチャンバー内に供給するための不活性ガス用のマスフローコントローラ4とこれに対向した位置にジボランガスを導入するための不純物ガス用のマスフローコントローラ5が形成されている。

[0033] このようにして不純物導入装置の本体部が構成されるが、この装置は枚葉型でしかも急速処理を可能にするために、全体の容積とくに真空チャンバー15の容積が必要最小限になるように構成することが重要である。ここで、プラズマ発生領域は、ヘリコン波プラズマ源、ECR (Electron Cyclotron Resonance) プラズマ源等を用いて形成するのが望ましい。このようなプラズマ源により、被処理基板13に導入するための不純物あるいはプラズマ照射のためのガスを含有する物質、ここでは $B_2H_6$  および Heガスをそれぞれの工程でプラズマ励起する。

[0034] 上記不純物を含有するガス物質の供給系では、マスフローコントローラ4、5を介して真空チャンバー15に一定量供給される。この供給量はマスフローコントローラ4、5、真空チャンバー15の容積、温度、真空度で決定され、それぞれ温度計および圧力計でモニターされ、図示しないがそれぞれの温度制御部、圧力制御部でガス温度、圧力が安定的に制御されている。

[0035] そして、ガス供給は、マスフローコントローラ4、5を通して行うが、圧力制御により厳密に規定することができる。ここで、ガスは、 $B_2H_6$ 、 $BF_3$ 、 $AsH_3$ 、 $PH_3$ 、あるいはこれらを不活性ガス希釈したものである。

[0036] 本発明の不純物導入装置は、不純物を含有する物質をプラズマ励起し不純物を基板にドーピングするものであるが、反応ガスを連続的に反応チャンバーに供給しプラズマ生成するRIE (Reactive Ion Etching) のようなドライエッチングあるいはCV

D (Chemical Vapor Deposition) と異なり、本発明の不純物導入装置では、基板への不純物導入量(ドーズ量)に対応した一定量のガスを高精度にプラズマ化できるものである。この構成により、極めて浅い深さの不純物導入が可能となり、高精度に不純物の導入深さの制御が可能となる。

[0037] また、極めて浅い接合を形成するように半導体基板(固体基体)への不純物導入が急速処理で高精度かつ高濃度に可能になり、短時間で枚葉処理できるようになる。このために、高精度で信頼性の高い半導体デバイスを生産性よく形成することが可能となる。また液晶表示基板に用いた場合には、液晶を搭載するガラス基板上に形成したシリコン薄膜に、微細な不純物領域を形成しTFTを配列することにより、微細なアクティブマトリックス型の液晶表示デバイスを形成することができるとともに、量産能力が向上し、生産コストの低減が可能となる。

[0038] 図1に示した不純物導入装置において、サセプタとしての下部電極14を兼ねるサセプタに直流(DC)電源10あるいは高周波電源12を取り付けてもよい。ここで、この高周波電源は周波数が100kHz〜10MHzである。これらの電源により生成したプラズマと被処理基板13との間に数eV〜1keV範囲のDC電位を形成できるようになる。また、サセプタとしての下部電極14を回転するサーキュレータ9により被処理基板14に水平面上で例えば10rpm程度の回転を加えることで、被処理基板13面内での不純物ドーズ量の均一性が更に向上する。

[0039] また、不純物ガス用のマスフローコントローラを介して不純物を含有する物質としては、上述したような常温・常圧で気体であるもの以外に、B、As、P、Sb、In、Al、Siの微粒子のような固体、上記不純物を含有する液体あるいは、固体微粒子を液体で被覆したものなどを用いてもよい。但し、この場合には、図1で示した供給系は少し異なったものになるが、不純物を含有する物質が一定量供給できるようになっていることが必要である。

[0040] 次に、本発明の不純物導入方法を図1及び図2を参照しつつ説明する。図2は本発明の実施の形態の不純物導入工程を模式的に示す工程断面図である。

まず、図2(a)に示すように、抵抗率 $10\ \Omega\text{cm}$  300mm  $\phi$  径のn型シリコン基板13nの表面にフォトリソグラフィによりマスクMを形成する。このようにマスクMの形成され

たn型シリコン基板13nからなる被処理基板13を、このサセプタとしての下部電極14上に載置し、静電吸着により固定させる。そして、ターボ分子ポンプ6及びドライポンプ8を作動させ真空チャンバー15内の真空度を $10^{-5}$ Pa程度にする。

- [0041] この状態にした後、マスフローコントローラ5を介してHeで希釈した濃度5%のジボラン $B_2H_6$ を一定量真空チャンバー15内に供給するとともに、DC電源10及び高周波電源1、12により真空チャンバー15内に充満するジボラン $B_2H_6$ をプラズマ励起し、被処理基板表面にプラズマドーピングを行なう。このとき真空チャンバー内のガス圧は2.5Pa、バイアス60Vで7秒間の処理を続行した。
- [0042] 続いて、100%Heガスを、マスフローコントローラ4を介してバイアス75Vで60秒間プラズマに曝し、Heプラズマ後処理を行なった。このとき真空チャンバー内の圧力は0.9Paに調整した。なお、被処理基板は基体温度の上昇を防ぐために下部電極14には冷却機構がついている。このため、被処理基板の表面温度は200℃を上限としてそれ以上は上昇しないようになっている。
- [0043] このようにして、図2(b)に示すように、マスクMから露呈する領域に深さ7nm程度のP型の不純物領域13Pが形成される。
- [0044] この状態でSIMSを用いて不純物プロファイルを測定した。その結果を図3に曲線aで示す。比較のために、比較例1としてHeプラズマ後処理前すなわち、プラズマドーピング後の不純物プロファイルを曲線bに示す。図3では縦軸はボロン濃度( $cm^{-3}$ )、横軸は深さ(nm)とした。これらの比較から、Heプラズマ後処理を行なうことにより、不純物濃度プロファイルがボックス型により近づいていることがわかる。
- [0045] この図から、本発明の方法で形成した不純物領域13Pの不純物プロファイルは深さ4nm位置で表面における不純物濃度の10分の1以上、深さ7nm位置で表面における不純物濃度の100分の1以上となっている。これに対し、プラズマドーピング後の不純物プロファイルは表面から急峻に低下している。
- [0046] このメカニズムについては明確ではないが、本発明によれば、B原子がHeイオンのノックオン効果で深い領域に移動したためと考えられる。すなわち低エネルギーのプラズマ(低エネルギーHeプラズマ)で叩くことにより、極表面にある不純物(B)を叩きこむものと考えられる。そしてある程度深く(10 nm)まで導入されたBは、Heプラズマで



叩かれることはなくなるため、極表面のものが深くまで入り、ある程度深くまで移動したものは、それ以上深くまで移動することがないため、図3に曲線aで示したようなプロファイルを得ることができるものと考えられる。そしてこの叩き込みすなわちノックオンは、基本的に深さ方向に運動エネルギーを与えるため、縦方向に選択的にボロン元素が移動することになり、横方向への拡散は、Si元素との衝突で若干は発生するものの極めて少なく、微細かつ浅い不純物領域を高精度に形成することが可能となる。ここで用いた測定装置は、4桁程度の範囲でしか測定不能であり、多数の点が点在してみえる領域は測定不能領域である。

[0047] 比較のため、比較例2として、近年極めて有効であるとされている、Ge-PAI即ち、ゲルマニウムイオン注入による前処理を行ない、不純物領域を形成した。これはあらかじめ被処理基板表面をゲルマニウムイオン注入によりアモルファス化した後 $\text{BF}_2$ イオンを注入することによって得られるもので、現状では最高の高精度の不純物プロファイルコントロールが可能であるとされている技術である。この結果を図4に曲線bで示す。上述した本発明の実施の形態の不純物濃度プロファイルを曲線aに示す。これらの比較からも本発明の方法で得た不純物領域は、よりボックス型に近い不純物プロファイルを形成していることがわかる。

[0048] この後、図1では示さなかったがマルチチャンバー構成の別チャンバー内でRTA(急速熱処理)やフラッシュランプアニールを施す。このようにして、本発明の不純物導入方法では、被処理基板13表面近傍に均一で浅い不純物領域を形成することができる。ここでアニール処理としては、スパイクRTA、フラッシュランプアニール(FLA)、レーザアニールなどが適用可能である。1000℃のスパイクRTAを用いる場合は昇温レート200℃/sec、降温レート60℃/sec程度とするのが望ましい。また、フラッシュランプアニール(FLA)を用いる場合は1100～1300℃、1msec、レーザアニールを用いる場合は全固体レーザで1500mJ/cm<sup>2</sup>、100nsecとする。

このように、本発明の方法により、Heプラズマ後処理により、プラズマドーピングによる浅い接合プロファイルを箱型に近づけることが可能である。

[0049] 尚、上述した被処理基板13へのプラズマ照射により、導入する不純物を含有する物質が、被処理基板13表面あるいはその内部に、吸着形態あるいは低エネルギー(



数eV〜1keV)イオン注入形態で導入される。ここで、吸着形態では、上記被処理基板5表面に、上記物質が物理吸着すると共に、主に、上記プラズマ励起で生成する上記物質の中性ラジカルのような活性種が化学吸着する。

[0050] これに対し変形例として不純物の導入方法として、プラズマドーピングに代えてイオン注入法あるいはガスドーピング法などを用いてもよい。

[0051] なお、ここで用いるプラズマとしては、ヘリコン波プラズマ、ECRプラズマ、平行プラズマ等、適宜選択可能である。

[0052] (第2の実施の形態)

以上の実施の形態では、半導体デバイスを形成する半導体基板を被処理基板として説明してきたが、本発明は、被処理基板が液晶表示デバイスを形成するガラス基板であって、マトリックス基板を構成する場合でも全く同様に適用可能である。

[0053] また、本発明は、上記の実施の形態に限定されることなく、本発明の技術思想の範囲内において、実施の形態は適宜に変更可能である。

[0054] なお、前記実施の形態では、減圧下で不純物を導入する方法について説明したが、常圧下で導入することも可能である。

### 産業上の利用可能性

[0055] 以上説明してきたように本発明は、不純物導入後、Heなどのガスプラズマによって浅い位置に不純物をノックオンすることにより、ボックス型に近い不純物プロファイルを得ることができるため、基板表面に絶縁膜を介してシリコン薄膜を形成したSOI(silicon on insulator)基板上へのDRAMの形成、薄膜トランジスタ(TFT)を含む液晶駆動回路を集積化した液晶パネルの形成など、微細化、高集積化に耐えうる不純物領域の形成に適用可能である。

## 請求の範囲

- [1] 固体基体の表面に所望の不純物を導入する工程と、  
前記導入する工程の後、前記固体基体の表面にプラズマを照射する工程を含むことを特徴とする不純物の導入方法。
- [2] 請求項1に記載の不純物の導入方法であって、  
前記固体基体は半導体基板であり、  
前記プラズマを照射する工程は、前記半導体基板中で、不活性であるプラズマを照射する工程を含む不純物の導入方法。
- [3] 請求項1または2に記載の不純物の導入方法であって、  
前記プラズマを照射する工程は、前記半導体基板中で、前記不純物が所望の不純物プロファイルをもつようにプラズマを照射する工程を含む不純物の導入方法。
- [4] 請求項1乃至3のいずれかに記載の不純物の導入方法であって、  
前記プラズマを照射する工程は、希ガス元素の少なくとも1種を含むプラズマを照射する工程を含む不純物の導入方法。
- [5] 請求項4のいずれかに記載の不純物の導入方法であって、  
前記プラズマを照射する工程は、Heプラズマを照射する工程を含む不純物の導入方法。
- [6] 請求項1乃至3のいずれかに記載の不純物の導入方法であって、  
前記プラズマを照射する工程は、水素を含むプラズマを照射する工程を含む不純物の導入方法。
- [7] 請求項1乃至6のいずれかに記載の不純物の導入方法であって、  
不純物を導入する工程が、プラズマドーピング工程を含む不純物の導入方法。
- [8] 請求項1乃至6のいずれかに記載の不純物の導入方法であって、  
不純物を導入する工程が、イオン注入工程を含む不純物の導入方法。
- [9] 請求項1乃至6のいずれかに記載の不純物の導入方法であって、  
不純物を導入する工程が、ガスドーピング工程を含む不純物の導入方法。
- [10] 固体基体の表面に所望の不純物を導入する不純物導入手段と、  
前記固体基体の表面にプラズマを照射して前記不純物の固体基体中での濃度分

布を調整する調整手段と、

導入された不純物を活性化するアニール手段とを具備した不純物導入装置。

[11] 請求項10記載の不純物導入装置であって、

チャンバーと、

前記チャンバー内に設置される固体基体の表面に不純物を導入する不純物導入手段と、

前記固体基体の表面にプラズマを生成するプラズマ生成手段と、

前記チャンバー内で前記固体基体をアニールするアニール手段とを具備した不純物導入装置。

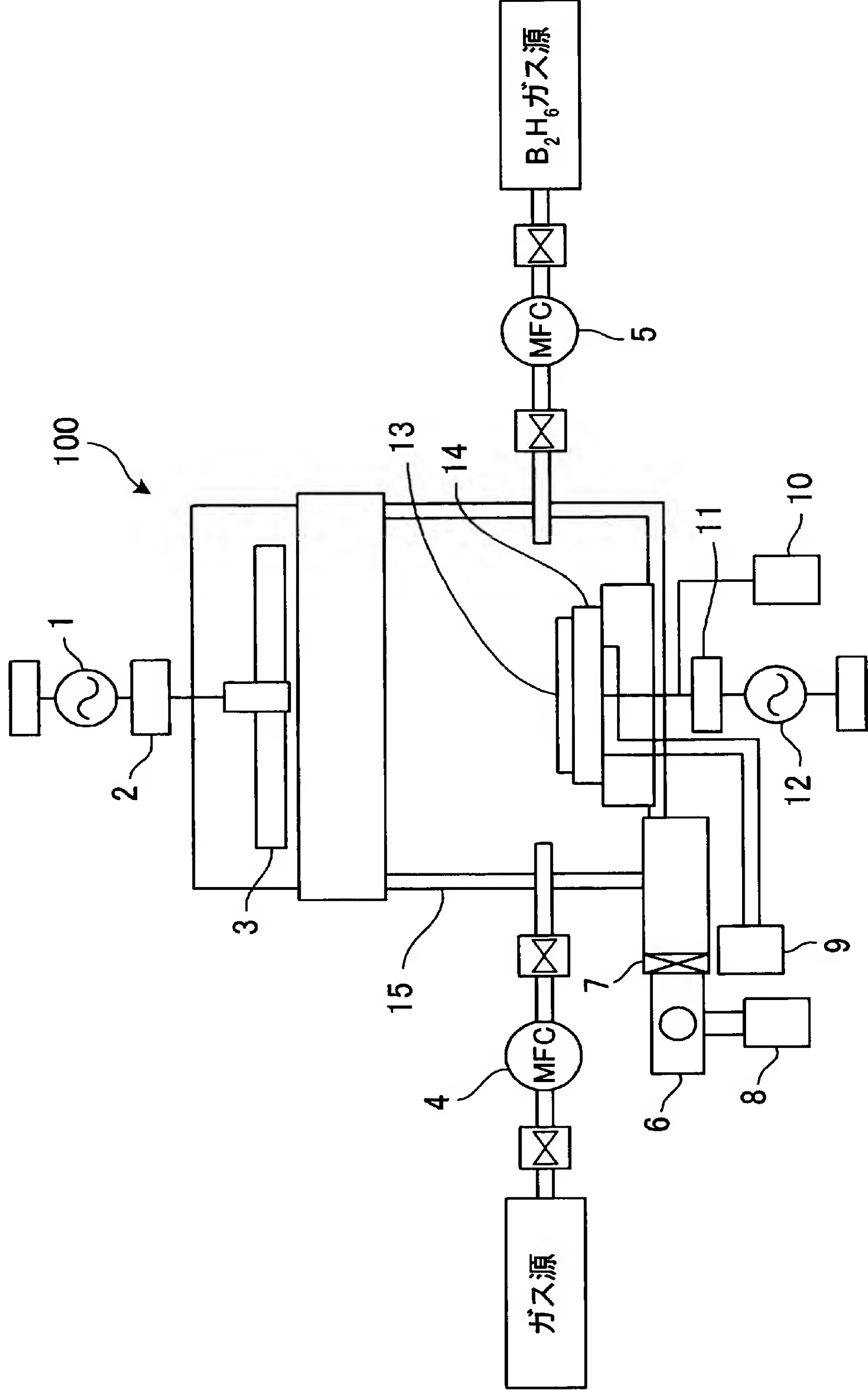
[12] 請求項1乃至9のいずれかに記載の不純物導入方法を用いて形成され、

不純物プロファイルが深さ4nm位置で表面における不純物濃度の10分の1以上となるように形成された半導体装置。

[13] 請求項12の半導体装置であって、

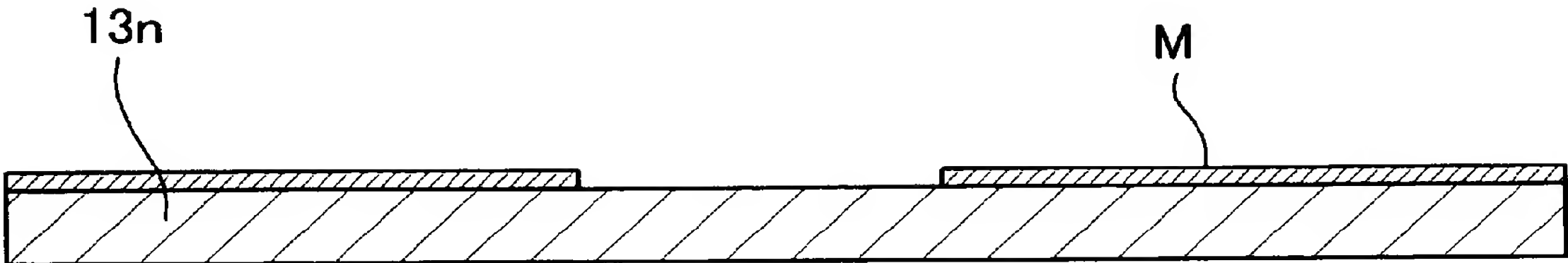
不純物プロファイルが深さ7nm位置で表面における不純物濃度の100分の1以上となるように形成された半導体装置。

[図1]

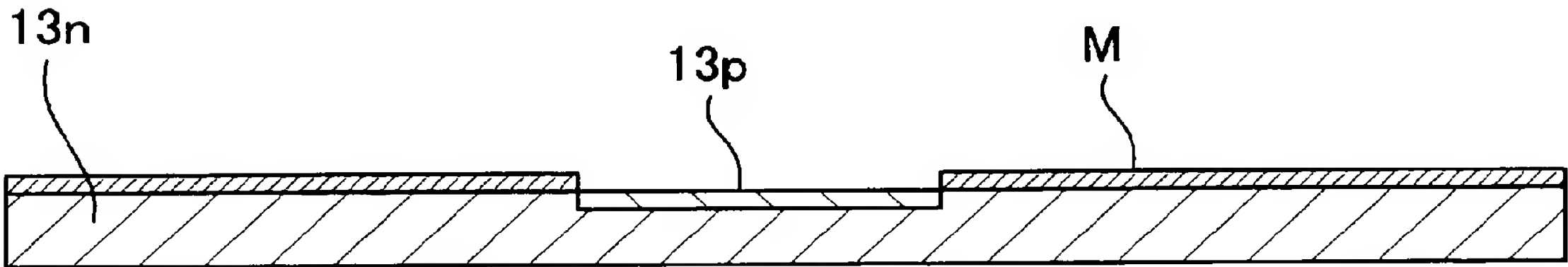


[図2]

(a)

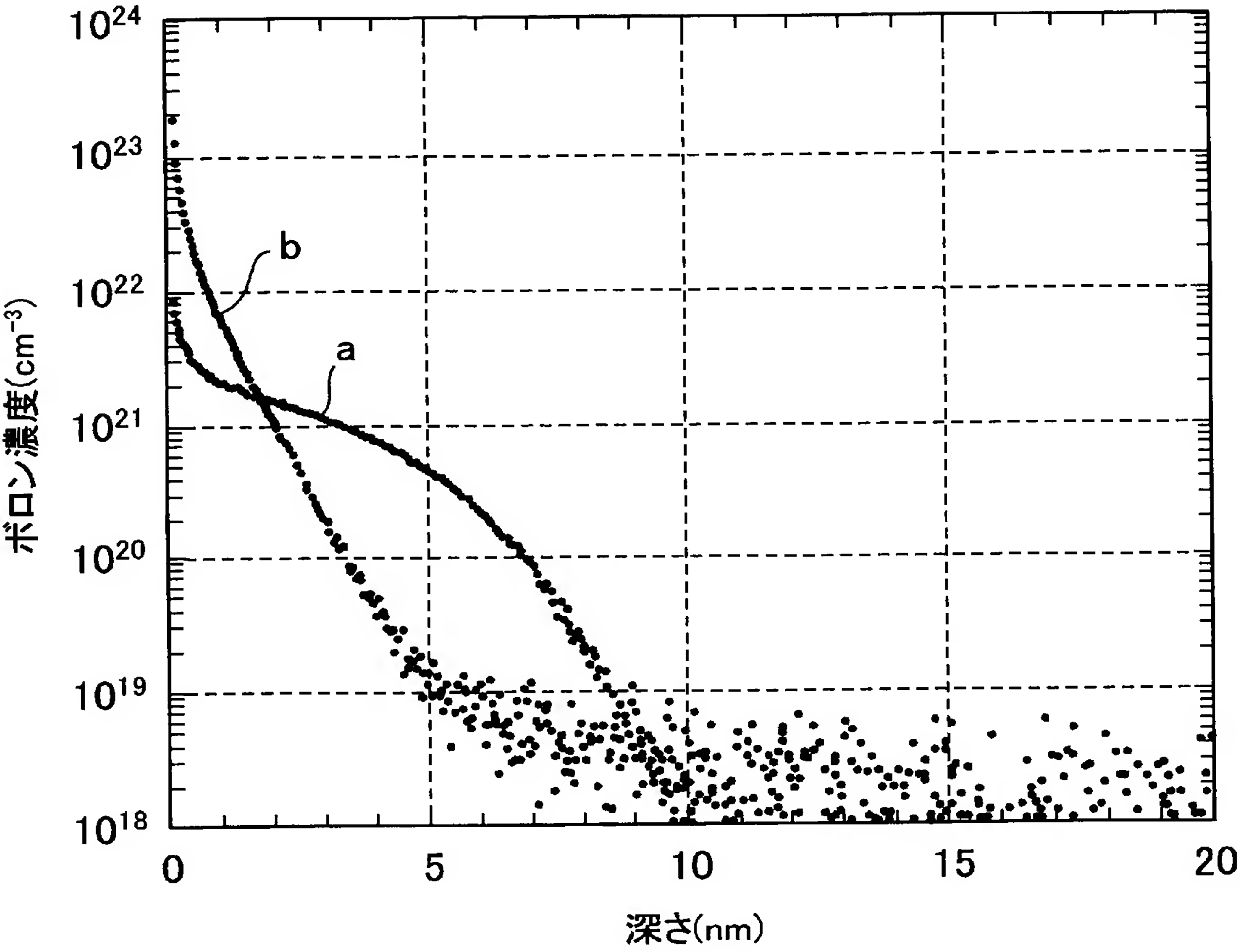


(b)

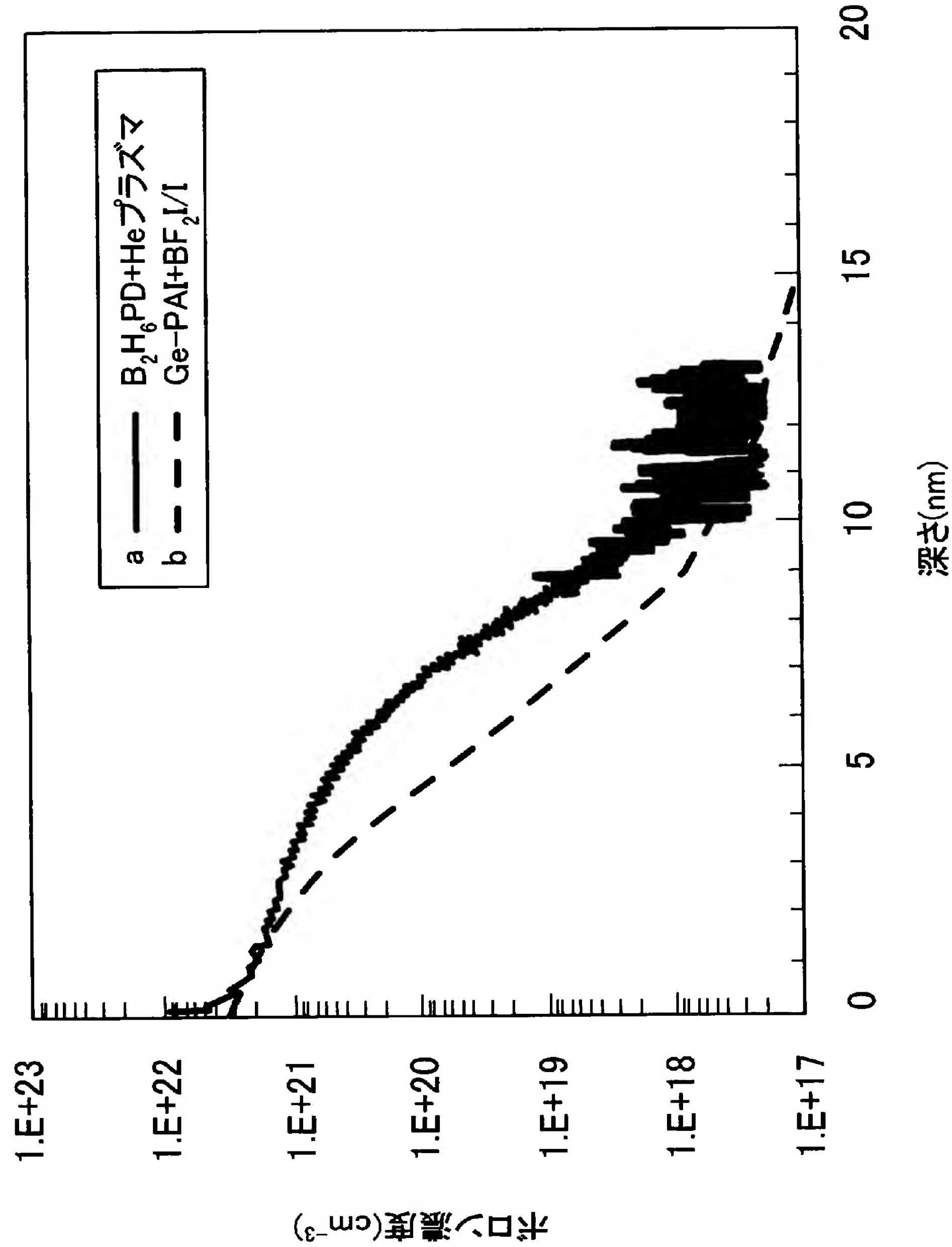




[図3]



[図4]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004790

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L21/265//H05H1/46

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L21/265//H05H1/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 1-111324 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 28 April, 1989 (28.04.89), Page 2, upper left column, line 16 to lower left column, line 1; Figs. 1 to 3 (Family: none)	1, 2



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T”

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X”

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y”

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&amp;”

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 June, 2005 (03.06.05)

Date of mailing of the international search report

21 June, 2005 (21.06.05)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004790

## Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

It appears that a group of inventions claimed in claims 1 to 13 are linked to each other only in the matter "introducing a desired impurity in a surface of solid substratum and subsequently irradiating the surface of solid substratum with plasma". However, as described in prior art literature, for example, JP 1-111324 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 28 April, 1989 (28.04.89), this matter cannot be a special technical feature.

Taking into account specified aspects of the inventions claimed in independent claims, it appears that the claims of this international application involve two inventions consisting of [invention of claims 1-9, 12 and 13] and [invention of claims 10 and 11]. (continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1 and 2.

### Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/004790

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

It appears that a group of inventions claimed in claims 1 to 9, 12 and 13 are linked to each other only in the matter "comprising the step of introducing a desired impurity in a surface of solid substratum and the step subsequent thereto of irradiating the surface of solid substratum with plasma". However, as described in prior art literature, for example, JP 1-111324 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 28 April, 1989 (28.04.89), this matter cannot be a special technical feature.

Taking into account specified aspects of the inventions claimed in claims, it appears that the claims of this international application claim eight inventions consisting of [invention of claims 1 and 2], [invention of claim 3 quoting claim 1], [invention of claims 4 and 5 quoting claim 1], [invention of claim 6 quoting claim 1], [invention of claim 7 quoting claim 1], [invention of claim 8 quoting claim 1], [invention of claim 9 quoting claim 1] and [invention of claims 12 and 13 quoting claim 1].

Therefore, it appears that the claims of this international application claim nine inventions consisting of [invention of claims 1 and 2], [invention of claim 3], [invention of claims 4 and 5], [invention of claim 6], [invention of claim 7], [invention of claim 8], [invention of claim 9], [invention of claims 10 and 11] and [invention of claims 12 and 13].



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L21/265 // H05H1/46

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L21/265 // H05H1/46

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 5 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 1 - 1 1 1 3 2 4 A (松下電器産業株式会社), 1 9 8 9 . 0 4 . 2 8 , 第 2 頁左上欄第 1 6 行 - 左下欄第 1 行, 第 1 - 3 図 (ファミリーなし)	1, 2

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 0 6 . 2 0 0 5

国際調査報告の発送日

21.06.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

萩原 周治

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 9 8

4 L

9 8 3 5

## 第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1～13に記載されている一群の発明は、「固体基体の表面に所望の不純物を導入した後、前記固体基体の表面にプラズマを照射する」という事項でのみ連関していると認めるが、この事項は先行技術文献、例えば、JP 1-111324 A（松下電器産業株式会社）、1989.04.28等に記載されているため、特別な技術的特徴とはなり得ない。

そして、独立請求の範囲に記載されている発明の特定の態様からすると、この国際出願の請求の範囲には、[1～9, 12, 13]と[10, 11]とに区分される2個の発明が記載されていると認める。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

1, 2

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

## 第 III 欄の続き

請求の範囲 1 ～ 9, 12, 13 に記載されている一群の発明は、「固体基体の表面に所望の不純物を導入する工程と、前記導入する工程の後、前記固体基体の表面にプラズマを照射する工程を含む」という事項でのみ連関していると認めるが、この事項は先行技術文献、例えば、JP 1-111324 A (松下電器産業株式会社), 1989.04.28 等に記載されているため、特別な技術的特徴とはなり得ない。

そして、請求の範囲に記載されている発明の特定の態様からすると、この国際出願の請求の範囲には、[1, 2]、[請求の範囲 1 を引用する 3]、[請求の範囲 1 を引用する 4, 5]、[請求の範囲 1 を引用する 6]、[請求の範囲 1 を引用する 7]、[請求の範囲 1 を引用する 8]、[請求の範囲 1 を引用する 9] 及び、[請求の範囲 1 を引用する 12, 13] に区分される 8 個の発明が記載されていると認める。

よって、この国際出願の請求の範囲には、[1, 2]、[3]、[4, 5]、[6]、[7]、[8]、[9]、[10, 11]、[12, 13] に区分される 9 個の発明が記載されていると認める。